

●运动人体科学●

运动处方要素对代谢综合征干预作用的研究进展

刘若江¹,王壮丽¹,张翔^{1,2}

(1.中北大学体育学院,山西太原 030051;2.忻州师范学院体育系,山西忻州 034000)

摘要:目的 全面评述不同运动方式的运动处方及其构成要素对代谢综合征的干预作用,探讨不同代谢综合征患者亚群适合的运动处方,为运动处方库中代谢综合征的预防和治疗提供参考。方法 采用文献资料法,以运动处方,代谢综合征,有氧运动等为中英主题词搜索相关研究并进行分类整理,形成清晰的研究思路。结果与结论 持续有氧运动对MS的干预作用最为全面,持续时间和运动频率是保证干预效果的基础;HIIT运动容量对MS患者的胰岛 β 细胞和血压参数在长期改善方面影响较大;RT运动容量是MS患者肌肉质量增加和健康相关指标改善的关键要素,独立于有氧运动可以长效改善SBP,胰岛素抵抗以及血糖血脂水平。

关键词:运动处方;代谢综合征;运动方式;构成要素

中图分类号:G804 文献标识码:A 文章编号:1003-983X(2023)03-0272-06

Research Progress on Intervention Effects of Exercise Prescription Elements on Metabolic Syndrome

LIU Ruojiang¹, WANG Zhuangli¹, ZHANG Xiang^{1,2}

(1.Physical Education College, North University of China, Taiyuan Shanxi, 030051; 2.Department of Physical Education, Xinzhou Normal University, Xinzhou Shanxi, 034000)

Abstract: **Objective** To comprehensively review the intervention effects of exercise prescriptions of different exercise modalities and their constituent elements on metabolic syndrome. So that to explore suitable exercise prescriptions for different subgroups of patients with metabolic syndrome and to provide a reference for the prevention and treatment of metabolic syndrome in the exercise prescription library. **Methods** The literature method was used to search and classify relevant studies with the Chinese and English subject terms of exercise prescription, metabolic syndrome, and aerobic exercise to form a clear research idea. **Results and Conclusion** Continuous aerobic exercise has the most comprehensive intervention effect on MS, and time and frequency are the basis to ensure the intervention effect. volume of high intensity aerobic interval training significantly impacts pancreatic β -cells and blood pressure parameters in MS patients in terms of long-term improvement. volume of resistance training is a crucial element in increasing muscle mass and improving health-related indicators in MS patients, independent of aerobic exercise for long-term improvement of SBP, insulin resistance, and glucolipid levels.

Keywords: exercise prescription; metabolic syndrome; exercise modality; component

代谢综合征(metabolic syndrome, MS)是指人体生理代谢包括蛋白质、糖类、脂类物质等发生紊乱的病理状态,是目前公认的世界性公共卫生问题,MS患者是最危险心血管风险因素的组合物,其罹患心脏病、中风、2型糖尿病及全因和心血管死亡的风险增加。近年来,积极运动已是预防和治疗MS的首要选择^[1]。我国对运动处方研究已有40多年,目前仍与西方国家差距较大,随着健康中国建设伟大航程的开启以及《“健康中国2030”规划纲要》的颁布,建立一个有中国特色且集聚科

学性、针对性、有效性、可操作性为一体的运动处方库是十分迫切的^[2],其中针对代谢综合征的运动处方数据库是不可或缺的一部分。本文从运动处方各制订要素对预防和改善代谢综合征患者心血管风险因素的作用进行总结探讨,从运动训练的本质将研究的主要运动方式限于第二通气阈值以下的可持续有氧运动,包含常见的中等强度持续运动(moderate intensity continuous training, MICT)、最大脂肪代谢强度运动等运动模式,第二通气阈值以上的间歇有氧运动、抗阻运动以及联合运动4种,其中第二通气阈值以上的有氧运动模式较多,本文仅将高强度间歇有氧运动作为此范围内治疗MS人群的主要方式进行探讨。

1 第二通气阈值以下的可持续有氧运动

Johnson等人^[3]的研究中指出运动量是促进MS患者健康

收稿日期:2023-01-16

基金项目:中北大学研究生科技基金资助课题(TY20210208)。

第一作者简介:刘若江(1998~),男,山西代县人,在读硕士,研究方向:运动处方的研究与应用, E-mail:lrjlwx@163.com。

的主要因素,具有显著的运动剂量效应,且当运动强度高但时间短时,MS 没有明显改善,但是相同的运动量在使用中等强度以确保更长的持续时间和训练频率可以改善 MS。且在保证运动频率和相同运动周期的情况下,高强度低持续时间的运动并没有对脂质代谢有明显的改善作用,而低强度高持续时间的运动从糖脂代谢等多个方面改善了患者的生活质量^[4]。Machado 等人^[5]所做的关于 3 个运动处方因素不同程度地改变患有代谢综合征肥胖大鼠的肌肉和心脏毛细血管密度及代谢功能的实验证明,运动频率和持续时间是逆转代谢紊乱和改善骨骼肌毛细血管密度的主要因素。我国学者张崇龙等人^[6]所做的相关研究发现,相同运动频率和运动持续时间下,中等强度与高强度有氧运动对心血管风险因素的干预效果无明显差异。以上研究都强调了运动频率和单次持续时间对 MS 患者运动干预的重要性,但是运动强度在前两者达到有效阈值的情况下仍然是不可忽视的。

以上研究中并没有直接引入心肺耐力的评估,缺乏 MS 保护因素对风险因素制衡的综合分析。运动诱导的心肺功能增强已被公认为一种有效治疗 MS 的方法,由运动诱导的心肺功能增强是构成代谢综合征的个体风险因素的保护因素,而运动强度是有氧运动改善机体心肺耐力的主要影响因素。Janssen 等人^[7]的研究指出在能量消耗剂量相同的情况下高强度比中等强度体力活动对 Mets 的影响更大,高强度的体力活动是预防心血管疾病和降低全因死亡风险的强力因子。这与上述研究的观点并不冲突,原因是 Janssen 的研究并不是进行直接的运动干预,且统计分析中本身会进行高强度体力活动的参与者和其心肺耐力良好是长期坚持的因果关系,且心肺功能低下可能导致动脉硬化和胰岛素抵抗增加,并导致高血糖和久坐行为增加^[8],这又导致 MS 较严重的参与者较难从事高强度的体力活动,长期恶性循环。在另外一项随访调查中也证明类似的结论,中等强度和高强度体力活动使 MS 风险显著降低,而低步行速度甚至每天步行超过 1h 都不能预防 MS^[9]。除高强度对于心肺耐力的直接影响外,其影响心血管风险因素的生物学机制还有强度更高时对腹部脂肪的影响,郑子威等人的研究发现^[10],在相同做功量下,较高强度持续运动与中等持续运动相比可以减少更多的内脏脂肪。另一方面,增加强度是逆转心脏微血管稀疏的主要因素^[5],微血管稀疏在高血压的致病机制中起重要作用,微血管稀疏改变早于血压的升高,作为治疗高血压的靶点之一,逆转微血管稀疏可能是维持运动降压效果的机制之一。综上所述,在通过第二通气阈值以下的可持续有氧运动干预治疗 MS 患者时,要综合考虑风险因素的降低和保护因素的提高,中等至高强度的持续有氧运动都应该兼顾,在保证运动频率和运动持续时间的基础上,增加运动强度才会带来更大的益处。

综合 3 个荟萃分析的研究结果表明持续有氧运动,可以显著降低 MS 患者的体重、腰围(WC)、收缩压(SBP)和舒张压(DBP)、空腹血糖(FBG)、甘油三酯(TG)和低密度脂蛋白胆固醇(LDL-C),提高高密度脂蛋白胆固醇(HDL-C)显著改善最大摄氧量(VO_{2max})^[1,11-12]。对于部分 MS 患者所重视的血糖参数来说,单次持续有氧运动会影响胰岛素敏感性 24~72h^[13],因此不建议连续 2 天以上没有进行中等强度持续有氧运动^[14],持续有氧运动运动频率可能是治疗以血糖控制为主需求的

MS 患者亚群的重点。对于脂质代谢来说,有研究认为持续有氧运动的运动强度直接影响 TG 的变化,运动总容量决定 LDL-C 和 HDL-C 的有益变化^[15]。另外,第二通气阈值以下的持续有氧运动的运动强度分级目前被认为是以第一通气阈值为分界点,以下为轻度到中等强度^[16],这一区间包含了最大脂代谢强度的运动模式,这种运动模式被证明可以改善胰岛素敏感度、血糖血脂等 MS 参数^[17-18],尤其对于 MS 患者来说普遍存在体重较大和心肺耐力等问题,高强度的持续有氧运动可能会对关节造成损害,且运动时易出现呼吸困难、心脏不适等问题,心理上对运动的恐惧和排斥等因素也会影响运动处方的实施,因此尽管最大脂代谢强度属于低强度的持续有氧运动,其治疗 MS 人群的运动处方中仍是不可或缺的一部分。而第一通气阈值以上强度由中等逐渐转为高强度,这一区间的运动模式建议依托心肺运动试验在保证患者安全的前提下,长期精准跟踪改善 MS 患者的心肺耐力^[19]。

2 第二通气阈值以上的间歇有氧运动

高强度间歇有氧运动是第二通气阈值以上的有氧运动治疗代谢综合征的主要模式,以乳酸大量堆积和呼吸频率大幅增加等为特征的生理原因,处在这一阶段的有氧运动通常很难长时间持续下去,诞生了这一特殊的有氧运动模式。近年来的研究证据表明,HIIT 对于慢性病管理和心脏病康复人群在科学监督下执行是安全的,出现不良反应的情况很少^[20]。这类运动模式目前分为两类:高强度有氧间歇训练(high intensity aerobic interval training, HIAIT)和冲刺间歇训练(sprint interval training, SIT),目前两种运动模式的差异分析对于慢病人群生理上的研究主要是最大摄氧量和全身脂肪氧化的增加,两种运动模式都显著增加了患病人群的最大摄氧量,且 SIT 似乎比 HIIT 提高更多,而对于全身脂肪氧化来说,使用 HIIT 模式增加的频率更高^[21],但是也有研究^[22]显示在增加 SIT 的持续时间后(由 6s 提高至 30s),其在体脂方面产生了比 HIIT 更大的改善。对于 MS 患者来说,这两种形式的间歇运动对其葡萄糖耐量和糖化血红蛋白都可产生强烈且相似的有益影响,任何一种形式的间歇训练都可以提高骨骼肌处理葡萄糖的能力,增强胰岛素敏感性,但是在空腹血糖和空腹胰岛素的改善方面尚存争议^[23]。

对于 HIIT 的运动强度是固定定义的,通常是“接近最大”或在最大心率或最大耗氧量的 80%~100%之间,在运动处方应用中的重点是组间休息时间(训练间隔)、单次回合持续时间和运动总容量。Joyce S Ramos 等人的研究^[24]指出,低容量 1HIIT (4×1min, 强度在 85%~95% HR_{peak} , 51 min/week) 和高容量 4HIIT (4×4min, 强度在 85%~95% HR_{peak} , 114 min/week) 在改善代谢综合征严重程度方面一样有效。Morales Palomo 等人的研究^[25]则显示 4HIIT (4×4min, 强度在 90% HR_{max}) 和 1HIIT (10×1min, 强度在 100% HR_{max}) 都可以改善 MS 患者的心肺耐力,但是 1HIIT 不足以改善 MS 患者的健康状况。von Korm 等^[26]对 29 名符合国际糖尿病联盟标准的 MS 患者随机分组进行 16 周不同运动干预,结果显示 HIIT 无论容量大小与 MICT 在提高 MS 患者运动能力和代谢健康方面没有显著差异。高容量的 HIIT (4HIIT) 对于患者的胰岛素抵抗指数改善更大,尤其是对于尚未发展为 2 型糖尿病的 MS 亚群患者,高容量 HIIT 是维

持其胰岛 β 细胞功能长期改善,提高胰岛素质量的唯一有效刺激物^[27]。Batacan Jr^[28]等人所做的按干预持续时间和体重指数分类进行的分类荟萃分析显示,ST-HIIT(少于 12 周)对超重/肥胖人群的 WC、 VO_{2max} 、FBG 和 DBP 有有益影响,而 LT-HIIT(大于 12 周)对超重/肥胖人群的 WC、体脂百分比、 VO_{2max} 、静息 HR、SBP 和 DBP 有有益影响。以上研究都表明了运动总容量对 MS 患者影响较大,与闫会敏、张超等人的研究^[29]结果相同,在具体运用时应从患者的运动依从性和患病严重程度来选择。

与传统的中等强度持续有氧运动(moderate intensity continuous training, MICT)相比,HIIT 在改善 MS 患者血糖参数方面可能并不具有显著优势。兰霄宇等人^[30]对超重或肥胖老年人随机分组进行了 12 周 HIAIT 和 MICT 的运动干预,结果显示,HIAIT 运动显著降低老年人的 FBG 和胰岛素抵抗水平,但与 MICT 组无显著差异,MICT 在降低糖化血红蛋白方面可能效果更佳,这与 Jelleymann 等人^[31]所做的荟萃分析报告一致,即 HIIT 对血糖控制具有临床意义,但在 FBG、糖化血红蛋白和空腹胰岛素方面并未超过 MICT,HIIT 可以更好地改善外周胰岛素敏感性。而在另一项荟萃分析中则显示了不同的研究结果,HIIT 在改善空腹胰岛素水平、糖化血红蛋白方面效果优于 MICT,两者在改善空腹血糖和胰岛素抵抗指数方面不具有显著差异^[32]。这可能是由于纳入研究的干预时间不同(大于 2 周和大于或等于 8 周)或者 HIIT 的训练组分差异造成的,已有研究证明糖化血红蛋白受组间休息时间(训练间隔)、运动持续时间及运动容量的影响,在干预后的变化复杂^[33]。另外,HIIT 降低 LDL-C、TC 和 TG 血脂参数方面没有足够证据显示优于 MICT^[34]。而 HIIT 干预 MS 患者最敏感的是血压,两种运动模式的血压改善幅度不具有显著差异^[35],但是 HIIT 在降低患者心外膜脂肪厚度,改善内皮功能障碍^[36]和中央动脉僵硬程度以及增强外周微血管舒张能力优于 MICT^[37],持续降压效果显著,且 HIIT 最为人们所倡导的优势在于其时间节省性和运动训练效果的高效性,因此长期来看,HIIT 干预 MS 患者的血压参数可能优于传统的持续有氧运动。

3 抗阻运动

抗阻运动(resistance training, RT)在独立于有氧运动的情况下,可以降低 2 型糖尿病、癌症、心血管疾病的患病率和全因死亡率^[38],即使参加每周少于 1h 的 RT,也与较低的 MS 发展风险相关^[39],一部分原因可能是 RT 在改善肌肉质量,维持或者增加肌肉力量方面是独一无二的,这些因子的上调也间接促进了身体活动的增加和降低了与年龄相关的身体活动能力减弱或者丧失。目前将 RT 加入预防和管理慢性病的运动处方已达成共识^[40],且重要性并不低于传统的持续有氧运动,但是因为 RT 对于 MS 患者的依从性和可操作性(关节问题、心理障碍、肌肉疼痛等)仍存在较大的问题^[41],且有氧运动长期以来安全稳定的治疗效果已被广泛认可,所以目前的运动处方实施中较少单独将 RT 作为主要药剂治疗 MS 患者,通常作为辅助药剂配合其他运动模式且效果十分显著。因此建议,作为一种辅助的运动模式,RT 的运动强度和容量建议是在运动处方主体运动模式各种要素确定以后再予以添加,应该注意的是,RT 的运动容量是影响肌肉肥大和健康增益效果最重要

的因素^[42],而运动容量是 RT 处方中最容易调整的变量,可以用多种方式表示,比如给定训练的总组数,每次练习的总重复次数(组数乘以重复次数),总容量负荷(重复的总次数乘以在一组练习中使用的重量)等,这些都可以在一周的时间内合理分配在不同的训练日^[43]。目前关于 RT 的单次回合持续时间、运动强度(1RM 的百分比)和训练类型(单关节与多关节,动态与静态等)等运动学因素对健康改善相关参数的研究较少。

Grøntved 等人^[44]所做的为期 18 年、每半年随访一次的调查研究显示进行 RT 的男性患 T2DM 的风险降低且独立于有氧运动,RT 与 T2DM 风险降低呈剂量反应关系,结合有氧运动可最大降低 MS 人群患 T2DM 的风险,即使是少量的 RT 也是有益的。Mavros 等人的研究中^[45],103 名参与者被随机分配到持续 12 个月,每周 3 天的高强度渐进式阻力训练的运动组和对照组,结果显示高强度阻力训练实现的骨骼肌质量增加与糖化血红蛋白和胰岛素抵抗指数的降低显著相关,Conceicao 等人^[46]则研究发现 16 周渐进负荷阻力训练改善了绝经后妇女的 FBG 和身体成分等指标。Crisieli 等人^[47]对 26 名老年女性进行了为期 12 周的阻力训练,且没有对饮食进行干预,结果发现在干预后其血糖水平、WC 和 SBP 都显著改善,降低了 Mets 风险因素。另外,Lemes 等人^[48]的荟萃分析显示 RT 可将 MS 患者的收缩压降低约 4.1mmHg,而降低 2mmHg 即可使中风死亡率降低约 10%,心脏病死亡率降低约 7%,这与许瀚、尹毅等人的研究结果一致^[12]。郭俏凤等人^[49]所做的 RT 对糖、脂代谢异常人群干预效果的荟萃分析表明,RT 可改善血糖、血脂和胰岛素抵抗水平,且相比有氧运动,RT 在停训后保持了糖化血红蛋白和 HDL 的改善,血脂的改善与 RT 运动量密切相关。综上所述,RT 已被广泛认可的是其对于 SBP、骨骼肌胰岛素抵抗和血糖血脂的改善。由于 RT 运动具有可逆转肌球蛋白重链基因转录与年龄相关的下降,并增加肌肉蛋白质合成率,改善骨骼肌质量和功能,从而增强葡萄糖氧化和改善胰岛素敏感性^[41],以及与单独的耐力运动以及两种运动结合相比,阻力运动会导致更大的鸢尾素反应^[50]等机制的原因,对于老年 MS 患者亚群来说,抗阻运动在运动处方制订中应占据较大部分的比例以保证肌肉力量和质量维持甚至增加。

4 联合运动

联合运动(combined training, CT)指的是上述各种运动模式之间两种或两种以上的结合,包括 MICT+RT, HIIT+RT, MICT+HIIT, MICT+RT+HIIT 等。不同强度的有氧训练结合抗阻运动是常见的 CT 模式,Minyu Liang 等人^[51]就有氧运动、阻力运动和联合运动对代谢综合征参数和心血管危险因素的影响进行了荟萃分析,结果显示,联合运动可以显著改善 MS 患者血糖控制和胰岛素抵抗,减轻体重和降低 WC、DBP、TG、TC 水平,且联合运动在改善血糖控制和降低 TG 方面最有效。这与许瀚、尹毅等人^[12]所做的评价运动对成人代谢综合征患者心血管危险因素的影响效果的 Meta 分析显示的研究结果差异较大,其认为有氧运动是成人 MS 患者改善心血管危险因素的最佳运动模式,联合运动只降低了 SBP 和体脂量。分析差异原因可能在于,许瀚等人的研究中联合运动的研究样本量太小且没有区分有氧运动的类型。Lee 等人^[52]所做的研究中,

对 118 名久坐不动的超重、肥胖青少年进行了 6 个月不同类型的运动干预,研究显示,有氧运动和联合运动都可以显著的改善胰岛素抵抗性,减少异位脂肪,且两者改善幅度无明显差异。有研究显示,较大容量 RT+较短时长有氧运动(RT 一周时间大于 1h,单次时间大于 30min)仅提高了肌力,对 MS 患者心血管风险因素等健康指标没有改善^[53],而长时间有氧+较小容量 RT 改善了 MS 患者的体重、TC 和 HDL-C、FBG 等健康相关指标^[54]。Balducci 等人^[55]将联合运动的干预时间拉长至 12 个月,结果显示其明显改善患者的糖化血红蛋白和胰岛素抵抗指数,增加 HDL-C。以上研究都表明联合运动中有氧成分和抗阻成分的合理结合是影响改善 MS 患者心血管风险因素等健康指标的关键。

Da Silva 等人^[56]所做的 MICT 或 HIIT 结合 RT 对 MS 患者的影响研究表明,对于 MICT+RT 模式来说,干预长度是重要的调节因素,干预时间越长收益越大,短期的 RT+MICT 在 FBG、HOMA-IR 等血糖参数方面没有显著变化,相比之下短期的 HIIT+RT 模式即可上调多种代谢综合征相关的风险因素,且 HIIT+RT 模式在改善 WC、LDL-C、FBG、胰岛素敏感性和 HOMA-IR 方面似乎比 MICT+RT 模式更具优势且在不同年龄段的 MS 患者都可发生;MICT+RT 和 HIIT+RT 运动组都改善了 WC,但是 MICT+RT 组仅改善了 TG,HIIT+RT 组仅发现对 LDL-C 有影响,其他血脂参数都没有变化,推测原因可能是干预时间较短,降脂药物和饮食控制欠缺;两运动组都没有观察到血压的明显变化,推测原因可能是 MICT+RT 运动组中 MICT 的运动持续时间短,运动容量少以及 RT 运动强度和容量较低造成的,目前缺乏足够证据支持 RT+HIIT 对 MS 患者血压参数的干预效果。Byrd 等人^[57]研究中将个体化的 MICT 与 HIIT 运动相结合,结果显示了实验参与者的最大摄氧量响应率达到了 100%,且对代谢综合征的严重程度积极改善,这可能是由于其运动量和运动强度整体提升的关系。

综上所述,对于联合运动处方的订制仍应以个性化为主要原则,不同代谢综合征患者亚群的需求会影响联合运动中有氧运动和抗阻运动组成成分的比重及各运动方式运动要素的选择。建议通过年龄、性别和代谢综合征风险因素的差异建立不同 MS 患者的联合运动运动处方库,重视心肺适能,肌肉力量等保护因素的提高,综合考虑 MS 人群个体最适运动处方,区分短期和长期运动干预的重点,以最大效率解决患病人群在临床指标上的异常,并保证其长期生存和生活质量的提高。

5 小结

本文主要分析探讨了运动处方制订要素中,主要运动方式以及各运动方式运动强度、运动频率、运动持续时间和运动容量对 MS 患者心血管主要风险因素,包括糖代谢异常、肥胖(尤其腹型肥胖)、脂代谢异常、高血压及其保护因素心肺耐力的影响,试图对不同代谢综合征亚群患者的最适运动处方提出建议,但是现有的研究仍然存在很大空缺,部分已有的各运动方式及其要素的相关研究存在缺陷,不能很好的统一结论。一部分原因可能是由于运动干预本身的复杂性和精密性,运动处方的制订中一个要素的改变就可能产生不同的干预结果,而且相同运动处方对不同个体的干预也可能产生不同的

影响。虽然现实的限制因素较多,但是仍应该继续探索普遍的科学规律,把握运动处方各要素治疗 MS 患者的总体趋势,根据每个患者异常代谢指标的差异,针对性的制定个体化运动方案,这可以相较于笼统普惠的运动处方较短时间内高效的改善 MS 患者异常的临床指标,免于患者做大量的无用功,有利于患者治疗信心与依从性,推进未来我国体医结合的真正实现和运动处方库的成熟应用。

参考文献:

- [1] PATTYN N, CORNELISSEN V A, ESHGHI S R T, et al. The effect of exercise on the cardiovascular risk factors constituting the metabolic syndrome[J]. Sports Medicine, 2013, 43(2):121-133.
- [2] 祝 莉, 王正珍, 朱为模. 健康中国视域中的运动处方库构建[J]. 体育科学, 2020, 40(1):4-15.
- [3] JOHNSON J L, SLENTZ C A, HOUMARD J A, et al. Exercise training amount and intensity effects on metabolic syndrome (from Studies of a Targeted Risk Reduction Intervention through Defined Exercise)[J]. The American journal of cardiology, 2007, 100(12):1759-1766.
- [4] 王 珊, 何敏学. 不同时长有氧运动对代谢综合征患者生活质量、体脂参数及代谢水平的影响[J]. 中国糖尿病杂志, 2016, 24(4):313-316.
- [5] MACHADO M V, VIEIRA A B, DA CONCEICAO F G, et al. Exercise training dose differentially alters muscle and heart capillary density and metabolic functions in an obese rat with metabolic syndrome[J]. Experimental physiology, 2017, 102(12):1716-1728.
- [6] 张崇龙, 赵 刚. 不同强度有氧运动对代谢综合征患者心血管危险因子的干预效果分析[J]. 沈阳体育学院学报, 2016, 35(5):68-74.
- [7] JANSSEN I, ROSS R. Vigorous intensity physical activity is related to the metabolic syndrome independent of the physical activity dose[J]. International journal of epidemiology, 2012, 41(4):1132-1140.
- [8] KIM B, KU M, KIYOJI T, et al. Cardiorespiratory fitness is strongly linked to metabolic syndrome among physical fitness components: a retrospective cross-sectional study[J]. Journal of Physiological Anthropology, 2020, 39(1):1-9.
- [9] LAURSEN A H, KRISTIANSEN O P, MAROTT J L, et al. Intensity versus duration of physical activity: implications for the metabolic syndrome. A prospective cohort study[J]. BMJ, 2012, 2(5):e001711. DOI: <http://dx.doi.org/10.1136/bmjopen-2012-001711>.
- [10] 郑子威, 张海峰. 不同强度运动锻炼对腹部内脏脂肪量的影响研究进展[J]. 中国运动医学杂志, 2018, 37(1):70-77.
- [11] OSTMAN C, SMART N, MORCOS D, et al. The effect of exercise training on clinical outcomes in patients with the metabolic syndrome: a systematic review and meta-analysis[J]. Cardiovascular diabetology, 2017, 16(1):1-11.
- [12] 许 瀚, 尹 毅, 赵 燕. 运动干预对成人代谢综合征患者心血管危险因素影响的 Meta 分析[J]. 中国体育科技, 2020, 56(5):59-70.
- [13] WALLBERG -HENRIKSSON H, RINCON J, ZIERATH J R. Exercise in the Management of Non-Insulin-Dependent Diabetes Mellitus[J]. Sports medicine, 1998, 25(1):25-35.
- [14] SIGAL R J, KENNY G P, WASSERMAN D H, et al. Physical activi-

- ty/exercise and type 2 diabetes:a consensus statement from the American Diabetes Association[J].Diabetes care,2006,29(6):1433-1438.
- [15] WOOD G,TAYLOR E,Ng V,et al.Determining the effect size of aerobic exercise training on the standard lipid profile in sedentary adults with three or more metabolic syndrome factors:a systematic review and meta-analysis of randomised controlled trials[J].British Journal of Sports Medicine,2022,56(18):1032-1041.
- [16] MACINTOSH B R,MURIAS J M,KEIR D A,et al.What is moderate to vigorous exercise intensity? [J].Frontiers in Physiology,2021:1481.DOI:https://doi.org/10.3389/fphys.2021.682233.
- [17] JIANG Y,TAN S,WANG Z,et al.Aerobic exercise training at maximal fat oxidation intensity improves body composition,glycemic control,and physical capacity in older people with type 2 diabetes [J].Journal of exercise science & fitness,2020,18(1):7-13.
- [18] DUMORTIER M,BRANDOU F,PEREZ-MARTIN A,et al.Low intensity endurance exercise targeted for lipid oxidation improves body composition and insulin sensitivity in patients with the metabolic syndrome[J].Diabetes & metabolism,2003,29(5):509-18.
- [19] 王晓东,谢友红,孙兴国,等.心肺运动试验精准制定个体化强度运动处方对代谢综合征患者心肺功能的影响[J].中国运动医学杂志,2019,38(1):3-9.
- [20] WEWEGE M A,AHN D,Yu J,et al High-intensity interval training for patients with cardiovascular disease—is it safe? A systematic review [J].Journal of the American Heart Association,2018,7(21):e009305.DOI:https://doi.org/10.1161/JAHA.118.009305.
- [21] ASTORINOR T A,SCHUBERT M M.Changes in fat oxidation in response to various regimes of high intensity interval training (HIIT) [J].European journal of applied physiology,2018,118(1):51-63.
- [22] NAVES J P A,VIANA R B,REBELO A C S,et al.Effects of high-intensity interval training vs.sprint interval training on anthropometric measures and cardiorespiratory fitness in healthy young women[J].Frontiers in physiology,2018:1738.DOI:https://doi.org/10.3389/fphys.2018.01738.
- [23] JIMENEZ-MALDONADO A,GARCIA-SUAREZ P C,RENTERIA I,et al.Impact of high-intensity interval training and sprint interval training on peripheral markers of glycemic control in metabolic syndrome and type 2 diabetes[J].Biochimica et Biophysica Acta (BBA) -Molecular Basis of Disease,2020.DOI:https://doi.org/10.1016/j.bbdis.2020.165820.
- [24] RAMO J S,DALLECK L C,BORRANI F,et al.Low-volume high-intensity interval training is sufficient to ameliorate the severity of metabolic syndrome[J].Metabolic syndrome and related disorders,2017,15(7):319-328.
- [25] MORLES-PALOMO F,RAMIREZ-JIMENEZ M,ORTEGA J F,et al.Effectiveness of Aerobic Exercise Programs for Health Promotion in Metabolic Syndrome[J].Medicine and science in sports and exercise,2019,51(9):1876-1883.
- [26] VON KORN P,KEATING S,MUELLER S,et al.The effect of exercise intensity and volume on metabolic phenotype in patients with metabolic syndrome:a randomized controlled trial[J].Metabolic syndrome and related disorders,2021,19(2):107-114.
- [27] RAMOS J S,DALLECK L C,BORRANI F,et al.The effect of different volumes of high-intensity interval training on proinsulin in participants with the metabolic syndrome:a randomised trial [J].Diabetologia,2016,59(11):2308-2320.
- [28] BATACAN R B,DUNCAN M J,DALBO V J,et al.Effects of high-intensity interval training on cardiometabolic health:a systematic review and meta-analysis of intervention studies[J].British journal of sports medicine,2017,51(6):494-503.
- [29] 闫会敏,张超,汪雅静,等.糖尿病患者高强度间歇运动的研究进展[J].护理学杂志,2020,35(1):97-101.
- [30] 兰霄宇,房国梁,韩天雨,等.高强度有氧间歇运动对超重或肥胖老年人体成分、血脂及血糖的影响[J].中国运动医学杂志,2022,41(7):510-517.
- [31] JELLEYMAN C,YATES T,O'DONOVAN G,et al.The effects of high-intensity interval training on glucose regulation and insulin resistance:a meta-analysis[J].Obesity reviews,2015,16(11):942-961.
- [32] 韩奇,刘佳易,安楠,等.高强度间歇运动与中等强度持续运动对2型糖尿病患者血糖控制和心血管风险因子干预效果对比的Meta分析[J].中国运动医学杂志,2021,40(10):822-830.
- [33] DE MELLO M B,RIGHI N C,SCHUCH F B,et al.Effect of high-intensity interval training protocols on VO₂max and HbA_{1c} level in people with type 2 diabetes:a systematic review and meta-analysis [J].Annals of Physical and Rehabilitation Medicine,2022.DOI:https://doi.org/10.1016/j.rehab.2021.101586.
- [34] WOOD G,MURRELL A,VAN DER TOUW T,et al.HIIT is not superior to MICT in altering blood lipids:a systematic review and meta-analysis[J].BMJ open sport & exercise medicine,2019.DOI:https://dx.doi.org/10.1136/bmjsem-2019-000647.
- [35] SERRABLO-TORREJON I,LOPEZ-VALENCIANO A,AYUSO M,et al.High intensity interval training exercise-induced physiological changes and their potential influence on metabolic syndrome clinical biomarkers:a meta-analysis[J].BMC Endocrine Disorders,2020,20(1):1-12.
- [36] JO E A,CHO K I,PARK J J,et al.Effects of high-intensity interval training versus moderate-intensity continuous training on epicardial fat thickness and endothelial function in hypertensive metabolic syndrome [J].Metabolic Syndrome and Related Disorders,2020,18(2):96-102.
- [37] MORA-RODRIGUEZ R,RAMIREZ-JIMENEZ M,FERNANDEZ-ELIAS V E,et al.Effects of aerobic interval training on arterial stiffness and microvascular function in patients with metabolic syndrome [J].The Journal of Clinical Hypertension,2018,20(1):11-18.
- [38] STAMATAKIS E,LEE I M,BENNIE J,et al.Does strength-promoting exercise confer unique health benefits? A pooled analysis of data on 11 population cohorts with all-cause,cancer,and cardiovascular mortality endpoints[J].American journal of epidemiology,2018,187(5):1102-1112.
- [39] BAKKER E A,LEE D C,SUI X,et al.Association of resistance exercise,independent of and combined with aerobic exercise,with the incidence of metabolic syndrome; proceedings of the Mayo Clinic Proceedings [C].Elsevier,2017.DOI:https://doi.org/10.1016/j.mayocp.2017.02.018.
- [40] BENNIE J A,SHAKESPEAR-DRUERY J,DE COCKER K.Muscle-strengthening exercise epidemiology:a new frontier in chronic disease prevention[J].Sports medicine-open,2020,6(1):1-8.
- [41] MCLEOD J C,STOKES T,PHILLIPS S M.Resistance exercise training as a primary countermeasure to age-related chronic disease[J].Frontiers in Physiology,2019.DOI:https://doi.org/10.3389/fphys.2019.

- 00645.
- [42] FIGUEIREDO V C, DE SALLES B F, TRAJANO G S. Volume for muscle hypertrophy and health outcomes: the most effective variable in resistance training[J]. *Sports Medicine*, 2018, 48(3):499–505.
- [43] SCHOENFELD B, GRGIC J. Evidence-based guidelines for resistance training volume to maximize muscle hypertrophy[J]. *Strength & Conditioning Journal*, 2018, 40(4):107–112.
- [44] GRONTVED A, RIMM E B, WILLETT W C, et al. A prospective study of weight training and risk of type 2 diabetes mellitus in men[J]. *Archives of internal medicine*, 2012, 172(17):1306–1312.
- [45] MAVROS Y, KAY S, ANDERBERG K A, et al. Changes in insulin resistance and HbA1c are related to exercise-mediated changes in body composition in older adults with type 2 diabetes: interim outcomes from the GREAT2DO trial[J]. *Diabetes care*, 2013, 36(8):2372–2379.
- [46] CONCEICAO M S, BONGANHA V, VECHIN F C, et al. Sixteen weeks of resistance training can decrease the risk of metabolic syndrome in healthy postmenopausal women[J]. *Clinical interventions in aging*, 2013(08):1221–1228.
- [47] TOMELERI C M, SOUZA M F, BURINI R C, et al. Resistance training reduces metabolic syndrome and inflammatory markers in older women: A randomized controlled trial[J]. *Journal of diabetes*, 2018, 10(4):328–337.
- [48] LEMESIR, FERREIRA P H, LINARES S N, et al. Resistance training reduces systolic blood pressure in metabolic syndrome: a systematic review and meta-analysis of randomised controlled trials[J]. *British journal of sports medicine*, 2016, 50(23):1438–1442.
- [49] 郭俏凤, 甘彦明, 张宇航, 等. 抗阻运动对糖、脂代谢异常人群效果的 Meta 分析[J]. *中国循证医学杂志*, 2021, 21(12):1432–1440.
- [50] TSUCHIYA Y, ANDO D, TAKAMATSU K, et al. Resistance exercise induces a greater irisin response than endurance exercise[J]. *Metabolism*, 2015, 64(9):1042–1050.
- [51] LIANG M, PAN Y, ZHONG T, et al. Effects of aerobic, resistance, and combined exercise on metabolic syndrome parameters and cardiovascular risk factors: a systematic review and network meta-analysis[J]. *Reviews in Cardiovascular Medicine*, 2021, 22(4):1523–1533.
- [52] LEE S, LIBMAN I, HUGHAN K, et al. Effects of exercise modality on insulin resistance and ectopic fat in adolescents with overweight and obesity: a randomized clinical trial[J]. *The Journal of pediatrics*, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2018.10.059>.
- [53] AGNER V F C, GARCIA M C, TAFFAREL A A, et al. Effects of concurrent training on muscle strength in older adults with metabolic syndrome: A randomized controlled clinical trial[J]. *Archives of gerontology and geriatrics*, 2018(75):158–164.
- [54] MARINI E, MARICANI P G, MINISTRINI S, et al. Combined aerobic and resistance training improves microcirculation in metabolic syndrome[J]. *The Journal of sports medicine and physical fitness*, 2018, 59(9):1571–1576.
- [55] BALDUCCI S, ZANUSO S, NICOLUCCI A, et al. Anti-inflammatory effect of exercise training in subjects with type 2 diabetes and the metabolic syndrome is dependent on exercise modalities and independent of weight loss[J]. *Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases*, 2010, 20(8):608–617.
- [56] DA SILVA M A R, BAPTISTAL C, NEVES R S, et al. The effects of concurrent training combining both resistance exercise and high-intensity interval training or moderate-intensity continuous training on metabolic syndrome[J]. *Frontiers in physiology*, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3389/fphys.2020.00572>.
- [57] BYRD B R, KEITH J, KEELING S M, et al. Personalized moderate-intensity exercise training combined with high-intensity interval training enhances training responsiveness[J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2019, 16(12):2088.

(上接第232页)

- [EB/OL]. (2023-01-19) [2023-02-07]. http://www.news.cn/2023-01/19/c_1129299456.htm.
- [6] 希 斯. 危机管理[M]. 王 成, 等译. 北京: 中信出版社, 2001: 19–20.
- [7] 习近平. 敏锐抓住信息化发展历史机遇自主创新推进网络强国建设[J]. *党建*, 2018(05):1.
- [8] 吴文峰, 肖谋文, 王 鑫, 等. 体育舆情及其引导策略刍论[J]. *体育学刊*, 2013, 20(5):36–38.
- [9] 新华网. 习近平在中共中央政治局第三十次集体学习时强调: 加强和改进国际传播工作 展示真实立体全面的中国[EB/OL]. (2021-05-31) [2021-10-24]. http://www.xinhuanet.com/politics/leaders/2021-06/01/c_1127517461.htm.
- [10] 王秀红, 韦媛媛. 从管控到治理: 突发事件网络舆情的政府应对[J]. *湖北工业大学学报*, 2015, 30(6):33–35+68.
- [11] 文茂伟. 舆情领导力研究[J]. *中国领导科学*, 2018(01):49–52.
- [12] 罗 红. 政府信息公开制度拓宽与完善[J]. *人民论坛*, 2015(02):44–46.